

**時変動するエアコン吹出し気流のCFD解析手法に関する研究
 (その2) 定常CFD解析による時変動吹出し気流の再現手法に関する研究
 CFD Analysis on Unsteady Airflow in Room with Air-conditioner
 Part2.CFD Calculation Method for Unsteady Airflow by Steady-state Analysis**

○ 中井 奈保子 (大阪大学) 甲谷 寿史 (大阪大学)
 山中 俊夫 (大阪大学) 安田 智一 (大阪大学)

Nahoko NAKAI *¹ Hisashi KOTANI*¹
 Toshio YAMANAKA*¹ Norikazu YASUDA*¹

*¹ Osaka University

Many building service designers predict to airflow pattern in room for the optimization of the diffuser layout design. Today, they often use CFD analysis. However, there are some problems. One of them is too much computational time. I focus on airflow from Air-Conditioner. This makes unsteady airflow, so they calculate by Unsteady-state Analysis. In this paper, I study about calculation methods by steady-state analysis to cut down computational time.

1 はじめに

室内環境を空調設備で整えるためには、室内の気流性状を把握することが必要であり、近年ではCFD(Computational Fluid Dynamics)解析が用いられている。空調吹出し口からの気流を設計段階で予測するためには、CFD解析において計算負荷を削減し、容易に予測する必要がある。これまでに、吹出し口のモデリングについて様々な手法が提案されており¹⁾²⁾、アネモ型ディフューザ⁴⁾やライン型ディフューザ⁵⁾を対象としたCFD簡易化についての研究がなされている。本研究では、時変動気流が特徴である、2方向パッケージエアコンを対象とする。時変動気流を正確に予測するためには、エアコンのベーンのスイングによる風向変化を考慮した非定常解析が必要となり、膨大な計算負荷がかかり、問題となる。一方で、実運用においてセンサーで温度制御する際には、スイング気流の秒単位の変動は考慮されず、10分など一定時間の平均値が用いられる。また、吹出し口から離れた居住域では、時変動気流の影響がそれほど大きいかどうか明らかではない。前報では、2方向パッケージエアコンを有する室内において吹出し口近傍風速分布・乱流統計量・室内風速変動を測定した。本報では、測定結果をもとにCFD非定常解析を行った。また、定常解析において時変動気流の拡散を考慮する方法について検討を行う。

2 実験による2方向パッケージエアコンの性状把握

実験は、大阪大学構内の一般的な部屋において、平成29年12月～平成30年1月に行った。実験室の平面図・断面図・天井伏図をFig.1に、対象とした2方向パッケージエアコン詳細図をFig.2に示す。実験では、窓に断熱処理を施し、等温状態とみなすこととした。Table1に実験条件を示す。実験では、吹出し口近傍の風速分布、乱

Table1 Experimental Conditions

date	2017.12~2018.1
item	PIV
	Hot-wire anemometer Ultrasonic anemometer
velocity	5.4m/s
room temperature	19-21°C
supply angle	0°,40°,60°,70°,80°

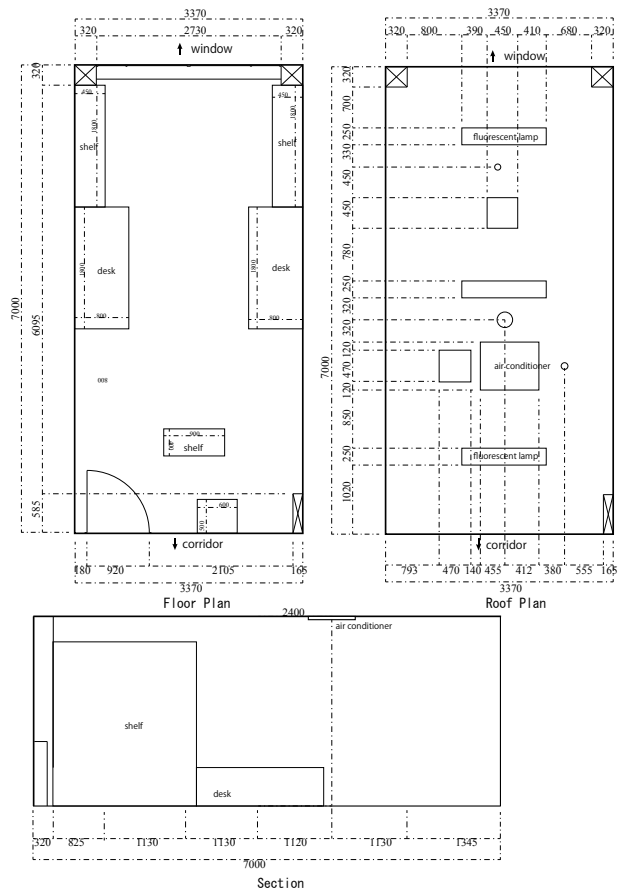


Fig.1 Experimental Room

Table2 CFD Condition in Unsteady-state Analysis

CFD Code	ANSYS FLUENT 17.2
Finite Difference Scheme	QUICK
Algorithm	SIMPLE
Turbulent Model	Standard k-ε model
Near-Wall treatment	Enhanced Wall Treatment
Turbulent Intensity	26%
Turbulent Length Scale	17mm
Inlet Velocity	5.4m/s
Time Step	0.01s
Number of Time Steps	1200

流統計量、室内気流風速変動をPIV、熱線流速計、超音波風速計を用いて測定した。詳細は前報を参照されたい。本報では、CFDで与える境界条件として実験より得られた、吹出し風速・乱流統計量を用いる。

3 CFD 非定常解析による時変動気流の再現

3.1 解析概要

実験で得られた結果をもとに、CFD 非定常解析を行い、時変動気流の再現を試みた。解析条件を Table2 に示す。乱流モデルは標準 k-ε モデルを採用し、離散化スキームは QUICK とした。実験では、スイング周期が 12 秒であるため、タイムステップ 0.01s で 1200 回計算した。実験室を模擬した解析空間を Fig. 3 に、流入境界の詳細図を Fig. 4 に示す。流入境界面では、吹出し方向を斜めに与えるのではなく、y 方向速度と x 方向速度それぞれプロファイルを用いて与え⁹⁾、合成風速を 5.4m/s 一定になるように設定した。吹出し角度はカタログ値より 0°(水平)～80° とし、各角度にベーンが留まる時間に偏りなく、一定であると考える。

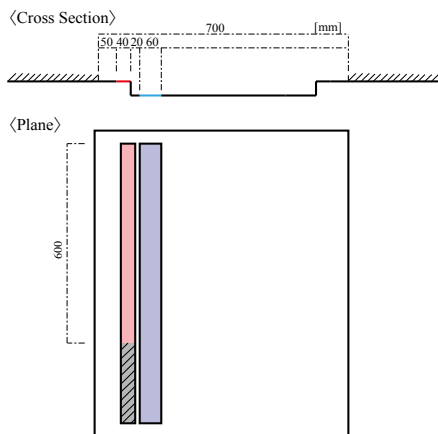


Fig.2 Detail of Air-conditioner

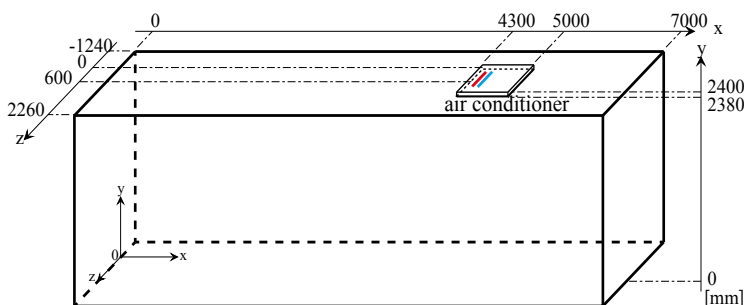


Fig.3 Detail of Analysis Domain

3.2 解析結果

12 秒間の非定常解析の結果を 1 秒ごとの風速コンター図を Fig. 5 に、12 秒間の平均風速コンター図を Fig. 6 に示す。

Fig. 5 より、吹出し開始から 3 秒後には気流が床面に到達し、風向が 0° に近づく 5 秒後・6 秒後には気流が 2 つに分離する。風向が 0° となった直後の 7 秒後・8 秒後には、気流が天井面に付着しており、9 秒後に剥離していく様子がわかる。80°→0°→80° という風向変化であるが、床面や天井面に付着する 45°・0° 付近での風速は大きいのに対

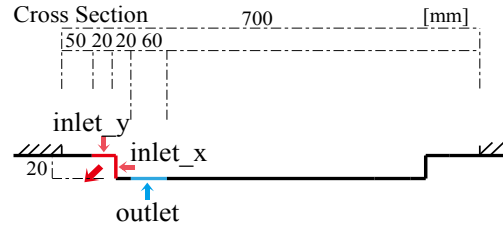


Fig.4 Detail of Inlet in Unsteady-state Analysis

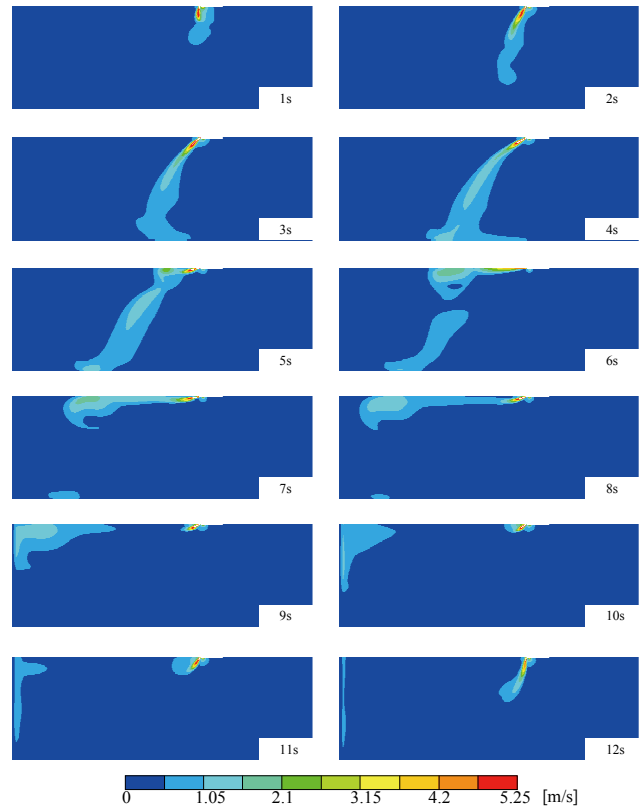


Fig.5 Scalar Velocity Distribution (per second) in Unsteady Analysis

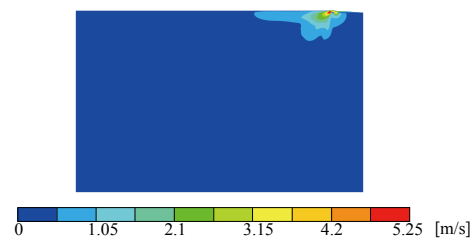


Fig.6 Scalar Velocity Distribution (Average) in Unsteady Analysis

Table3 CFD Condition in Steady-state Analysis

CFD Code	ANSYS FLUENT 17.2
Finite Difference Scheme	Second-order Upwind
Algorithm	SIMPLE
Turbulent Model	Standard k-ε model
Near-Wall treatment	Enhanced Wall Treatment
Turbulent Intensity	26%
Turbulent Length Scale	17mm
Inlet Velocity	5.4m/s
Supply Direction	40°

し、0°～80°間を移動する際の風速は小さいことがわかる。また、8秒後にも気流が水平方向であることから、スイング周期とは関係なく、付着の影響で床面や天井面に気流の留まる時間が長くなっていると考えられる。

Fig. 6より、12秒平均では、気流が天井に付着する0°の位置での到達距離が大きくなっている。しかし、同様の考え方では気流が床面に付着する、45°付近においても到達距離が大きくなるはずであるが、実際はあまり大きくない。この原因として、今回の非定常解析では、0～12秒の結果を用いたため吹き出し直後である45°では、十分な気流場が生成されていたことが挙げられる。解析時間を24秒、36秒…と長くし、吹き出し開始直後のデータは用いずに平均する必要がある。

4 CFD 定常解析による簡易化手法の検討

4.1 非定常 CFD 解析との比較

CFD 定常解析については、y方向・x方向の気流を吹き出し後に合成することで拡散に影響があり、4.3で述べる乱流統計量についての検討の妨げになる可能性を考慮し、y方向のみの流入境界面とし、風速と角度を与えた。⁷⁾ここでは、風向は実験結果とともにモード2の風向40°とした。CFD 定常解析の解析条件をTable3に、流入境界の詳細図をFig. 7に示す。

非定常解析と定常解析(ケース1)の結果を比較し、実際定常解析を行った場合にどの程度の補正が必要であるかを考察する。Fig. 8に風速コンター図を示す。

結果より、定常解析を行った場合、気流の到達距離は長く、拡散は小さいということがわかる。よって、4.2では、到達距離を小さくする方法として、開口面積を調節し、吹き出し流量は保ったまま風速を小さくする検討を行う。

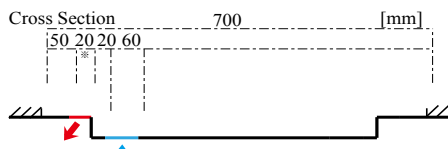


Fig.7 Detail of inlet in Steady-state Analysis

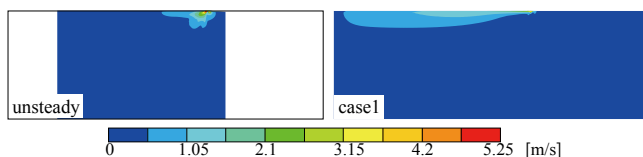


Fig.8 Scalar Velocity Distribution in Unsteady-state Analysis and Steady-state Analysis(case1)

Table 4 Analysis Cases (4.2)

	A[m ²]	b[mm]	v[m/s]
case1	0.012	20	5.4
case2	0.024	40	2.7
case3	0.048	80	1.35
case4	0.06	100	1.08
case5	0.072	120	0.9

4.2 開口面積による到達距離の検討

4.1より、定常解析を非定常解析の時間平均と一致させるためには、到達距離を短くしなければならない。吹き出し風速を小さくすれば、到達距離を短くすることができるが、吹き出し流量は非等温を検討する場合には保存する必要がある。そこで、開口面積(Fig7※)を大きくすることで風速を小さくした5つのケースを検討する。長手方向の長さは全てのケースで0.6mとしているため、吹き出し口幅の大きさを調節する。Table4に各ケースの吹き出し口幅と吹き出し風速を示す。Fig. 9に非定常解析の時間平均・ケース1～5の風速コンター図を、Fig. 10に残風速0.5m/sの到達距離を示す。ケース1・ケース2では、40°方向に吹き出しているにも関わらず、天井面に沿った風速分布となり、ケース3・4・5では開口面積が大きくなるにつれて、吹き出し風向40°方向の風速分布となった。到達距離を比較

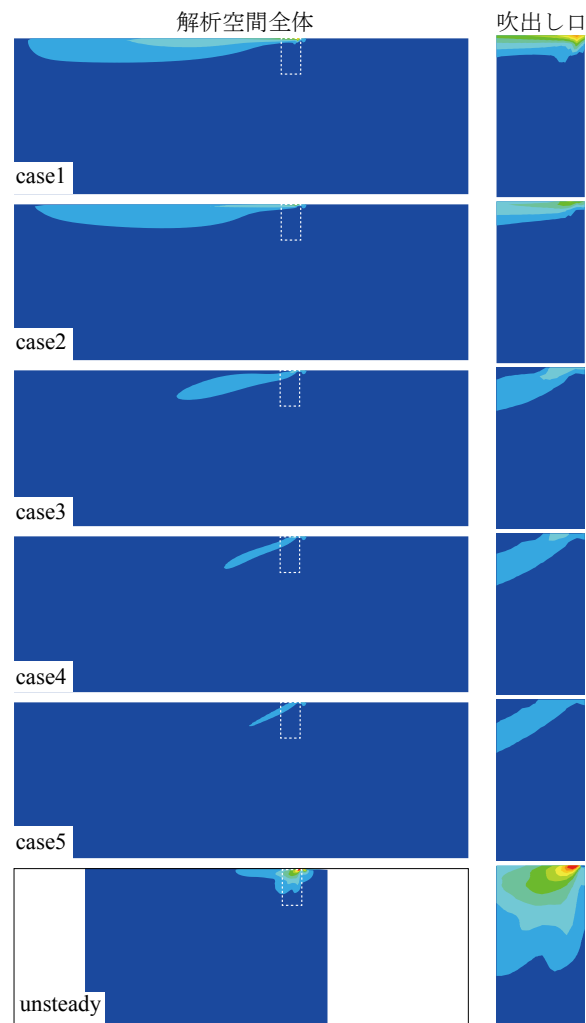


Fig.9 Scalar Velocity Distribution in Unsteady-state Analysis and Steady-state Analysis(case1・case2・case3・case4・case5)

Table 5 Analysis Cases (4.3)

	I [%]	L [mm]
case4-1	2.6	17
case4-2	26	17
case4-3	2.6	170
case4-4	26	170

すると、風向を除くとケース 5 が非定常解析に比較的近いことがわかる。しかし、到達距離は拡散幅が大きくなると短くなることを踏まえ、非定常解析の結果よりは到達距離がわずかに長いケース 4 の開口面積・風速を用いて 4.3 拡散幅の検討を行う。

4.3 乱流統計量による拡散幅の検討

時変動気流を時間平均することで失われる気流の拡散を吹出し気流の乱流統計量を調節することで補うことを試みた。乱流統計量(乱流強度 I、長さスケール L)は、実験結果より求めた乱流エネルギー k とエネルギー散逸率 ε を式 1、式 2 を用いて算出した。この 2 つの乱流統計量について 4 つのケースを検討する。ケース 4-1 では、実験で得られた基準値 I=2.6%、L=17mm とし、ケース 4-2 では、I の値を 10 倍し、ケース 4-3 では L の値を 10 倍にした。ケース 4-4 では、I と L の両方を 10 倍した。それぞれのケースを Table 5 に示す。

Fig. 11 に風速コンター図、Fig. 12 に残風速が 0.5m/s とする拡散幅・到達距離を示す。実験結果から算出した I・L の値を用いたケース 4-1、それぞれ一方を 10 倍したケース 4-2・ケース 4-3 では、風速分布に大きな違いは見られなかったが、I と L の両方の値を 10 倍したケース 4-4 では、到達距離が短くなっていることが分かる。ケース 4-4 の拡散幅には、基準ケース 4-1 と差異はなかった。

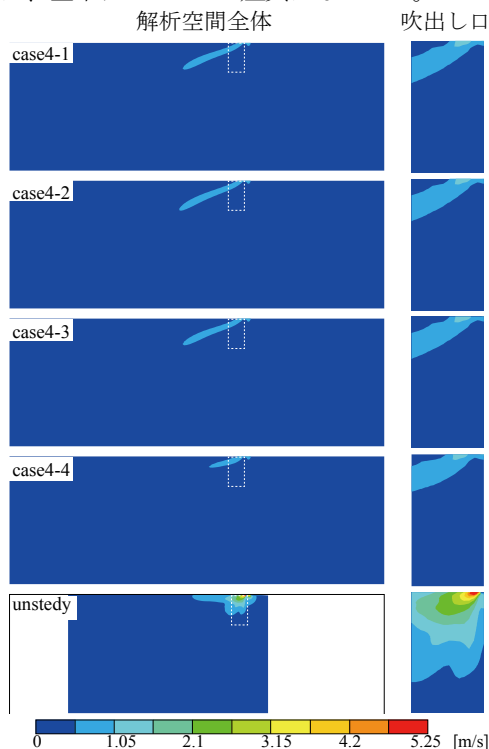


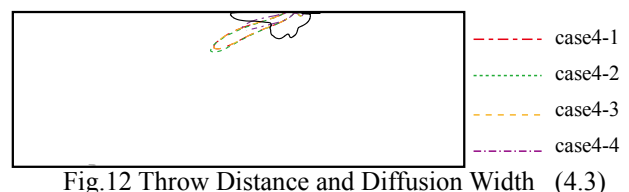
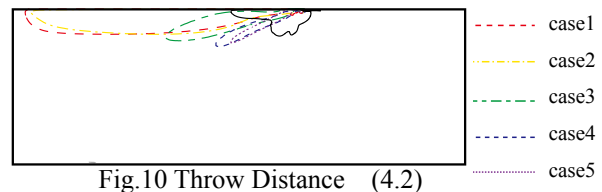
Fig.11 Scalar Velocity Distribution in Steady-state Analysis (case4-1・case4-2・case4-3・case4-4)

5 まとめ

本報では、実験結果をもとに CFD 解析を行った。非定常解析では、プロファイルを用いた境界条件を与え、時変動する気流性状を把握した。また、定常解析では、非定常解析の時間平均と同様の結果を得る方法について検討を行った。開口面積を大きくすることで、到達距離を短くできることがわかった。乱流統計量の調節では、到達距離を短くすることはできるが、拡散幅には影響がなかった。以上のことから、拡散幅を変化させる方法について今後は検討が必要であると考えられる。より拡散しやすい吹出し口の形状について検討する予定である。また、非定常解析の時間平均の風速分布は単純なものではなく、大きく分けて 2 つの噴流の重なりである。到達距離を短くすることはできたが、この風速分布を再現するためには、吹出し口において、吹出し風速に方向別の分布を付けることや、PV 法などを適用することを検討したい。

$$k = \frac{3}{2}(vI)^2 \quad 1) \quad L = \frac{0.07D}{c_\mu^{3/4}} \quad 2)$$

k : 乱流エネルギー [m^2/s^2]
 v : 流速 [m/s]
 I : 乱流強度 [%]
 L : 長さスケール [m]
 D : 代表長さ [m]
 C_μ : 0.07[-]



【参考文献】

- 1) P.V.Nielsen: Description of Supply Openings in Numerical Models for Air Distribution, ASHRAE Transaction, Part1, pp.963-971,1992.2
- 2) J.Srebric, Q.Chen: Simplified Numerical Models for Complex Air Supply Diffusers, HVAC&R Research, pp.277-294, 2002.6
- 3) Chen,Q.,and Moser,A.:Simulation of a multiple-nozzle diffuser,Proc.of 12th AIVC Conference,Vol.2,pp.1-14,1991
- 4) 澤田, 甲谷, 桃井, 相良, 山中: 複雑な形状吹出し口を有する室内気流の CFD 解析に関する研究 (その 5) 吹出し気流の BOX における仮想境界面に関する検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.2207-2210,2012.9
- 5) 丹原, 甲谷, 桃井, 山中, 相良, 中井: ライン型ディフューザを用いた室の CFD 解析手法に関する研究 (その 5) シングルラインディフューザにおける気流性状の把握と簡易解析手法の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.205-208,2016.9.6
- 6) 五島, 酒井, 小野: 4 方向カセット型ディフューザの CFD パーツ化に関する検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.221-224,2017.9
- 7) 田中, 今野, 佐藤, 坂本: ビル用マルチエアコン導入時の室内温熱環境に関する研究 (その 2) 実測調査と CFD 解析用吹出し噴流モデルの作成, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.923-924,2009.8